

- **Erhebung des Ist-Zustands**
 - Berechnung des Elektrizitätsbedarfs
 - Vorgehensweise Beleuchtung, Übung
 - Vorgehensweise Lüftung, Übung

- **Bewertung des Ist-Zustands**
 - Vergleichskennwerte, Übung
 - Nutzungsanforderungen, Übung

- Für jede Zelle der Stromverbrauchsmatrix

$$E = \frac{p \cdot h_{\text{Voll}} \cdot 0,9}{1000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right]$$

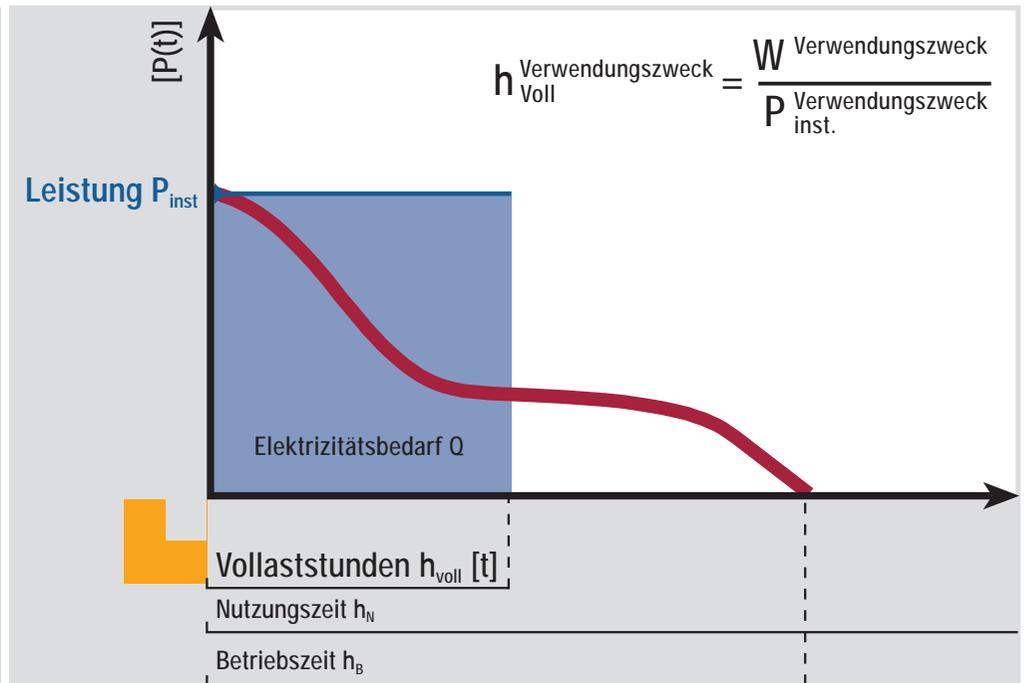
$$W = \frac{E \cdot A_{\text{BGF}}}{1000} [\text{MWh/a}]$$

- Spezifische Leistung p [$\text{W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$]
- Vollbetriebszeit h_{Voll} [h/a]
- Bruttogrundfläche A_{BGF}
- Flächenkorrektur [$\text{m}^2_{\text{BGF}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$]
- Umrechnung [Wh/kWh], [kWh/MWh]

- Spezifische Leistung p [$\text{W}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$]
- installierte Leistung
- bei manchen Verbrauchern weicht diese stark von der tatsächlich beanspruchten Leistung ab
- Alle anderen Einflüsse, wie z.B. eine Überdimensionierung von Anlagen, finden in der Vollbetriebszeit Berücksichtigung
- Vergleichswerte für Beleuchtung, Luftförderung, Kälte

Vollbetriebszeit Teil 1

- Vollbetriebszeit h_{Voll} [h/a]:
energieäquivalente
jährliche Betriebszeit
bei Vollast
- i.d.R. aus Jahresarbeit
und inst. Leistung
- Jahresarbeit des
Verwendungszwecks
aber unbekannt



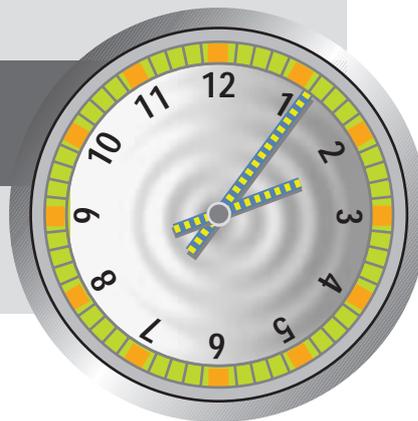
Vollbetriebszeit

Teil 2

- Vollbetriebszeit h_{Voll} [h/a]:
aus Standardnutzungszeit h_{N}
und Betriebsfaktoren
- Betriebszeitfaktor f_{C}
- Bedarfsanpassung f_{E}

$$h_{\text{Voll}} = f_{\text{C}} \cdot f_{\text{E}} \cdot h_{\text{N}}$$

- Vergleichskennwerte



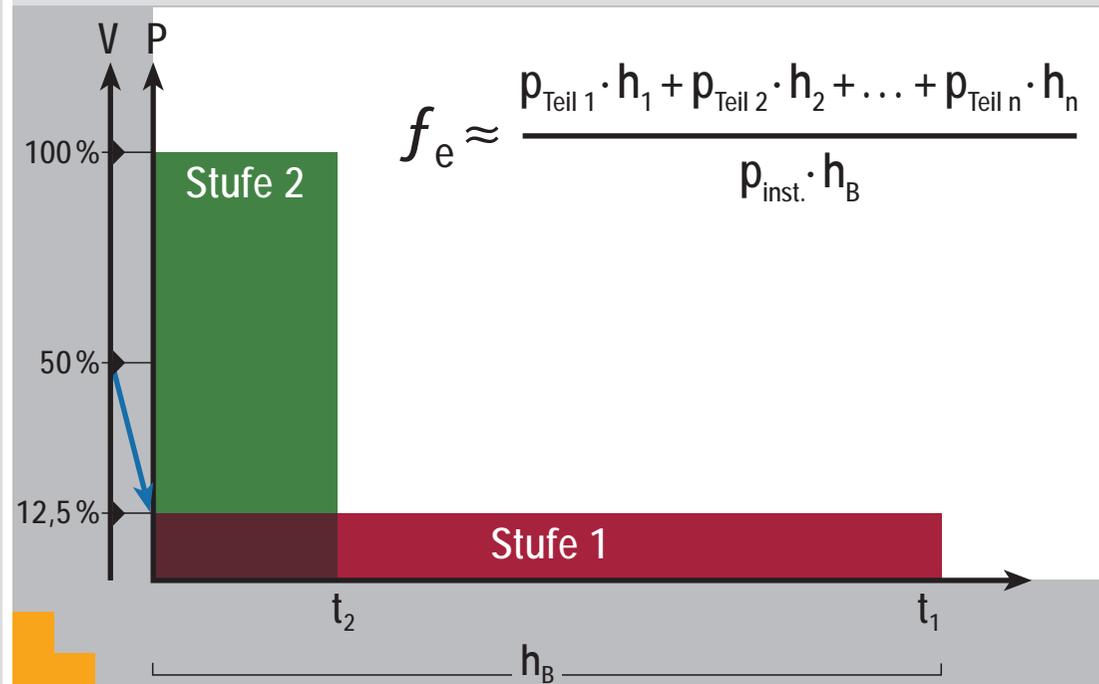
Betriebszeitfaktor f_c

- Verhältnis von Betriebszeit h_B zu Standardnutzungszeit h_N des betrachteten Verwendungszwecks
- Tabellen für einzelne Verwendungszwecke

$$f_c \approx \frac{h_B}{h_N}$$

Bedarfsanpassung f_E

- verschiedene Betriebszustände des Gerätes (*Standby-Betrieb*) oder Einflüsse der Regelung führen zu einer Bedarfsanpassung
- Tabellenwerte für einzelne Verwendungszwecke

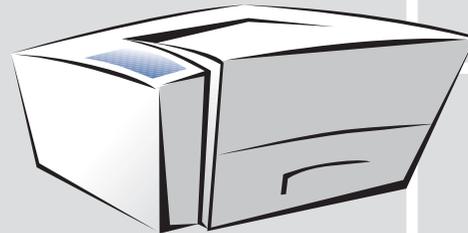


Beispiel Arbeitshilfen

Teil 1

■ typisches Büro mit $83 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$

■ Laserdrucker mit 500 W
im Druckbetrieb
und 16 W im
Standby-Mode



■ Betriebszeit wie
Standardnutzungszeit
2750 h/a

■ zu 90% der Betriebszeit
in Standby

$$p_{\text{Laser}} = \frac{P_{\text{inst.}}}{A_{\text{NGF}}} = \frac{500 \text{ W}}{83 \text{ m}^2_{\text{NGF}}} = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{NGF}}}$$

$$f_c = \frac{h_B}{h_N} = 1$$

$$f_e = \frac{P_{\text{Standby}} \cdot h_{\text{Standby}} + P_{\text{Druck}} \cdot h_{\text{Druck}}}{P_{\text{Druck}} \cdot h_B}$$
$$= \frac{16 \text{ W} \cdot 0,9 + 500 \text{ W} \cdot 0,1}{500 \text{ W}} = 0,13$$

$$h_{\text{Laser}} = f_c \cdot f_e \cdot h_N$$
$$= 1 \cdot 0,13 \cdot 2750 \text{ h/a} = 358 \text{ h/a}$$

$$E_{\text{Laser}} = \frac{p \cdot h_{\text{Voll}} \cdot 0,9}{1000} = \frac{6 \cdot 358 \cdot 0,9}{1000}$$
$$= 1,9 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right]$$

Beispiel Arbeitshilfen Teil 2

- Spez. Verbrauch der Laserdrucker: 1,9 kWh/m²a
- Spez. Verbrauch der PCs: 10,3 kWh/m²a
- Hochrechnung auf die gesamte Nutzungszone Büro: 2.652 m²_{BGF}
- sonstige Arbeitshilfen (*Kopierer, Server, Fax, Getränkeautomaten, Kaffeemaschinen ect.*) verbrauchen etwa 91 MWh/a
- Elektrizitätsverbrauch der AH in der Bürozone: 123 MWh/a

$$E_{\text{Laser}} = 1,9 \left[\text{kWh/m}^2_{\text{BGF}}\text{a} \right]$$

$$E_{\text{PC}} = 10,3 \left[\text{kWh/m}^2_{\text{BGF}}\text{a} \right]$$

$$\begin{aligned} W_{\text{PC+Laser}} &= (E_{\text{PC}} + E_{\text{Laser}}) \cdot A_{\text{BGF}} \\ &= \frac{(10,3 + 1,9) \cdot 2\,652}{1\,000} \text{ [MWh/a]} \\ &= 32 \text{ [MWh/a]} \end{aligned}$$

$$W_{\text{sonst. AH}} = 91 \text{ [MWh/a]}$$

$$W_{\text{AH, Büro}} = 123 \text{ [MWh/a]}$$



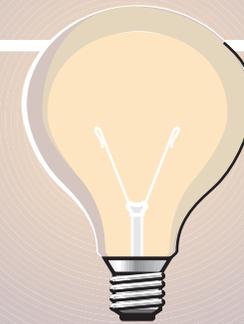
Spezifische Leistung Beleuchtung

- Einen Typraum für die Allgemeinbeleuchtung jeder Nutzungszone auswählen
- bei bestehendem Gebäude installierte Leistung der Lampen und VGs addieren
- bei Neubau Wirkungsgradmethode
- Spezialbeleuchtung, Dekorationsbeleuchtung zusätzlich erfassen
- Vergleichskennwerte

$$p_{\text{allg. BL}} = \frac{(p_{\text{Lampen}} + p_{\text{VGs}}) \cdot \eta_{\text{Leuchten}}}{A_{\text{NGF}}} [\text{W/m}^2_{\text{NGF}}]$$

$$p_{\text{allg. BL}} = \frac{E_m}{\eta_L \cdot \eta_B \cdot \nu} [\text{W/m}^2_{\text{NGF}}]$$

$$p_{\text{BL}} = p_{\text{allg. BL}} + p_{\text{spez. BL}} [\text{W/m}^2_{\text{NGF}}]$$



- Nennbeleuchtungsstärke E_m in lx nach DIN 5035 T2
- Lichtausbeute η_L in lm/W nach Herstellerangaben oder Anhang Broschüre
- Beleuchtungswirkungsgrad η_B nach Herstellerangaben oder Anhang Broschüre
- Alterungsfaktor ν

$$p_{\text{alg. BL}} = \frac{E_m}{\eta_L \cdot \eta_B \cdot \nu} \text{ [W/m}^2_{\text{NGF}} \text{]}$$

$$\eta_B = \eta_{\text{Leuchte}} \cdot \eta_{\text{Raum}}$$

$$\nu = 0,8$$



Einflußfaktoren:

- Nutzungszeit h_N der Zone
- Lage der Nutzungszeit im Tagesverlauf
- Tageslichtdeckungsanteil
- Möglichkeiten der Tageslichtnutzung TAN
- Anpassung an den Bedarf $f_{e,BL}$

$$h_{BL} = (1 - TDA \cdot TAN) \cdot f_{e,BL} \cdot h_N [h/a]$$

Tabellenwerte in Broschüre und LEE



Deckungsanteil Tageslicht TDA

Einschätzung TDA nach

- Raumsituation
- Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche oder
- Tageslichtquotient D

Einschätzung nach LEE

- $TDA = 1 - f_v$

Ausschnitt aus der Tabelle 500 lx, 8 h/d (A 3.1.8.8)

1. Dieses ist die Spalte für D = 2,0%

Nutzungsbeginn	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	Tag
00:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
01:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
02:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	
03:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	
04:00	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	
05:00	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	
06:00	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	
07:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	
08:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,5	
09:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	
10:00	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	
11:00	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	
12:00	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	

2. Hier bestimmen Sie den Anfang der Nutzungszeit

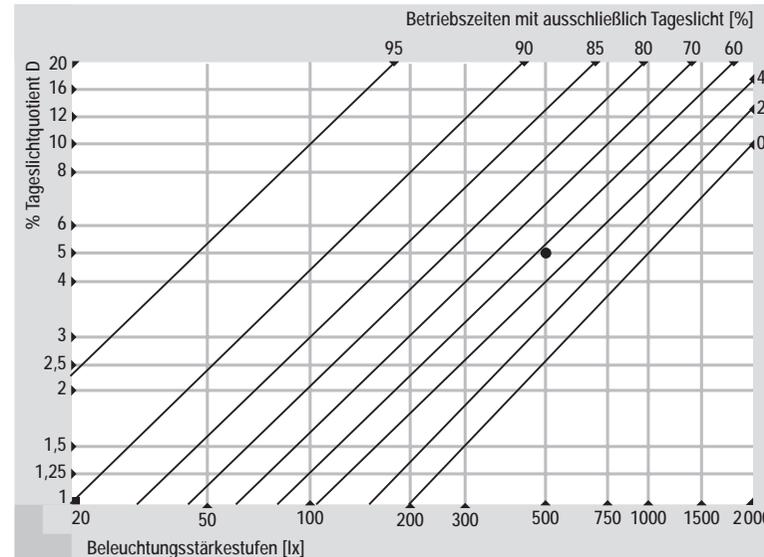
3. Der gesuchte Faktor beträgt 0,9

Tageslichtquotient

Definition: $D = \frac{E_{\text{Nutzebene innen}}}{E_{\text{horizontal außen}}}$

Tageslichtquotient	Einschätzung	Wahrnehmung	Außenbeziehung
kleiner als 1 % 1 bis 2 %	sehr schwach bis schwach	dunkel bis düster	in sich geschloßen bis isoliert
2 bis 4 % 4 bis 7 %	mittel bis hoch	düster bis klar	örtlich nach außen offen
7 bis 12 % größer als 12 %	hoch bis sehr hoch	klar bis sehr klar	nach außen groß- zügig offen

- Wahrgenommene Beleuchtungszustände in Innenräumen und Beziehung zum Außenraum in Funktion des Tageslichtquotienten D



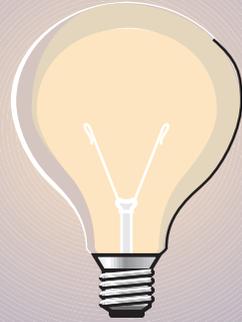
- Betriebszeit ausschließlich mit Tageslicht in Abhängigkeit vom Tageslichtquotienten D.
(Arbeitszeit im Sommer von 7-17 Uhr, im Winter von 8-18 Uhr)

Verminderungsfaktor f_v (LEE)

Nutzungsbeginn	Tageslichtquotient D [%] 500 lx, 8h, 1													
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	20,0
00:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
01:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
02:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
03:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
04:00	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
05:00	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
06:00	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
07:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
08:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
09:00	1,0	1,0	0,9	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10:00	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
11:00	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
12:00	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
13:00	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
14:00	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
15:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
17:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

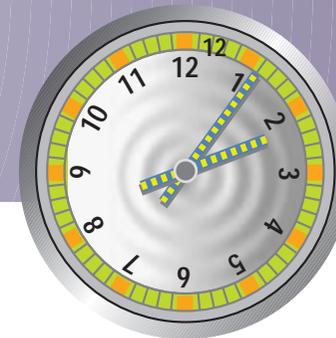
Bedarfanpassung $f_{e,BL}$

- Großraumbüro
- Einzelbüro
- Zeitschaltuhr
- Nutzerverhalten

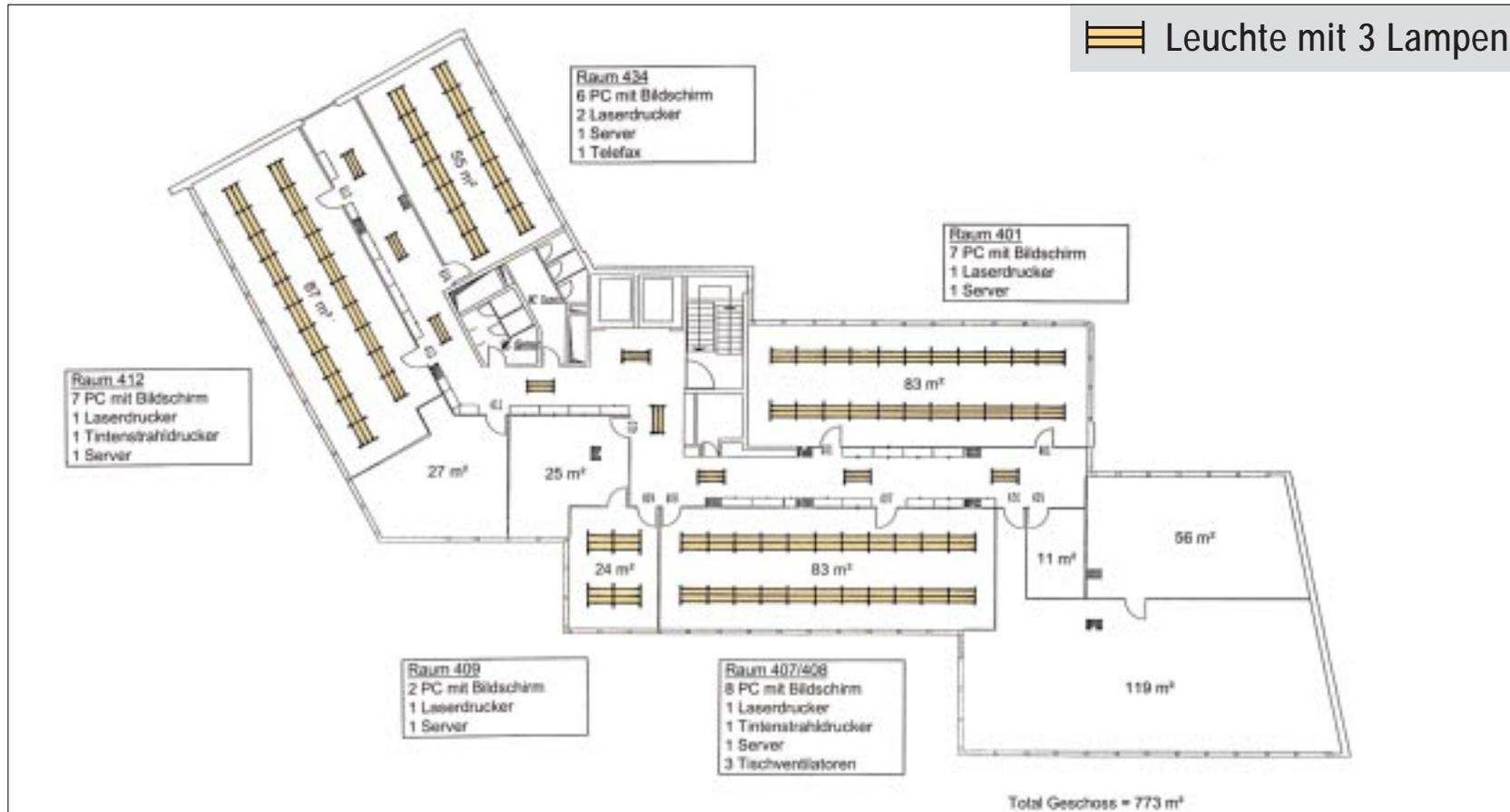


Tageslichtausnutzung TAN

- tageslichtabhängige Steuerungs- oder Regelungseinrichtungen
- Handbetrieb



Muster-Verwaltungsgebäude, 4. OG, Beleuchtung



Musterbeispiel / Stromsparcheck

			Verwaltungsgebäude , 4.OG	Massstab 1:200	Gez. Geprüft		
Ausg.	Datum	Visum					
ÄNDERUNGEN							
Ersatz für:							Nr. 50a3-014

Übung 6: Beleuchtung

IST-Zustand

Die Beleuchtungsanlage in den Büroräumen soll für das Muster-Verwaltungsgebäude näher untersucht werden. Die Anlage besteht aus: Offene, dreiflämmige Reflektorleuchten mit Dekoraster und konventionellem Vorschaltgerät (KVG). Die Leuchten sind mit Standard-Leuchtstofflampen ausgerüstet.

Die Vollbetriebszeit von Beleuchtungsanlagen hängt nicht nur von der Nutzungszeit, sondern u. a. auch von der Lage der Nutzungszeit im Tagesverlauf, der Tageslichtnutzung und den technischen Regelungsmöglichkeiten ab. Mit Hilfe von Teilbetriebsfaktoren kann man die Betriebszeit im Ist-Zustand einschätzen.

Aufgaben

1. Wählen Sie aus dem Grundriß des 4. Obergeschosses einen Typraum für die Beleuchtungsanlage der Büros aus. Zählen Sie die Anzahl der Leuchten im Typraum und ergänzen Sie die Tabelle im Lösungsblatt. Die Leuchten sind im Grundrißplan des 4. Obergeschosses eingezeichnet (s. *Abbildung 1*).

2. Ermitteln Sie die spezifische Leistung p für die Beleuchtung des Typraumes.

$$p = \frac{P_{\text{inst}}}{A_{\text{NGF, Typraum}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{NGF}}} \right]$$

3. Vergleichen Sie den soeben berechneten spezifischen Leistungswert für die Bürobeleuchtung mit den empfohlenen Richtwerten aus der Tabelle 1. Der Typraum soll als Gruppenbüro mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx nach DIN 5035 Teil 2 ausgelegt werden. Formulieren Sie Ihre diesbezüglichen Bemerkungen.

4. Ermitteln Sie die Vollbetriebszeit h der Beleuchtung. Wählen Sie anhand der Beschreibung im Lösungsblatt die Werte für die Bedarfsanpassung f_e , den Deckungsanteil Tageslicht TDA und die Ausnutzung Tageslicht TNA aus der Tabelle in der Anlage 1 aus.

$$h = f_e \cdot (1 - \text{TDA} \cdot \text{TAN}) \cdot h_N \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right]$$

5. Ermitteln Sie den spezifischen Elektrizitätsbedarf E für die Beleuchtungsanlage und vergleichen Sie das Ergebnis mit den entsprechenden Grenz- und Zielwerten aus der Tabelle in Anlage 3.

$$E = \frac{p \cdot h \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right]$$

6. Berechnen Sie den Jahresstromverbrauch der Beleuchtungsanlage für Büros. Die Bruttogeschoßfläche A_{BGF} der Zone Büro ist 2.652 m². Bei der Berechnung handelt es sich um eine Hochrechnung eines ausgewählten Büorraumes auf das Gesamtgebäude. Tragen Sie das Ergebnis in die Tabelle Elektrizitätsbilanz ein.

$$W = \frac{E \cdot A_{\text{BGF}}}{1.000} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]$$

Übung 6: Beleuchtung

IST-Zustand

Lösungen

1.

Typraum Nr.:			
Raumfläche A_{NGF} [m ²]:			
Anzahl Leuchten	Anzahl Lampen/Leuchte	Leistung P/Leuchte [W]	Installierte Leistung Pinst [W] (= Spalte 1 · Spalte 3)
	3	146	

2.

$$p = \frac{P_{inst}}{A_{NGF, Typraum}} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right] \quad P =$$

3.

Allgemeiner Richtwert = W/m²

Verschärfter Richtwert = W/m²

Lösungen

4.

$$f_e = \quad TDA = \quad TAN =$$

$$h = f_e \cdot (1 - TDA \cdot TAN) \cdot h_N \left[\frac{h}{a} \right] \quad h =$$

Beschreibung: Bei den Büros handelt es sich überwiegend um helle Räume. Die Beleuchtung wird von Hand ein- und ausgeschaltet. Dementsprechend ist die Tageslichtausnutzung nur mittelmäßig. Die Arbeitsplatzzahl pro Büro liegt zwischen 8 und 10. Die Standardnutzungszeit h beträgt 2.750 h/a (11 h/d).

5.

$$E = \frac{p \cdot h \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right] \quad E =$$

$$E_{\text{Grenzwert}} = \quad E_{\text{Zielwert}} =$$

6.

$$W = \frac{E \cdot A_{\text{BGF}}}{1.000} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] \quad W =$$

Luftförderung

- Zu- und Abluftventilatoren
- Umwälzpumpen für Lufterhitzer, Kühlregister, WRG
- Pumpen für Befeuchter

Kühlung

- Kältekompressor
- Kaltwasserpumpen
- Ventilatoren für Rückkühlwerke
- Förderpumpen für Rückkühlwerke

Einteilung der Nutzungszonen möglichst an den Versorgungsbereichen orientieren!

Bestehende Anlage

- installierte Leistung von Zu- und Abluftventilatoren sowie Hilfsantrieben

$$p_{LF} = \frac{P_{inst, Zuluft} + P_{inst, Abluft} + P_{inst, Hilfsantriebe}}{A_{NGF, LF}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- die aufgenommene Leistung hängt vom Druckverlust der Anlage ab und kann von der inst. Leistung deutlich abweichen

Geplante Anlage

- Abschätzung über Volumenstrom und Druckverlust der Anlage

$$p_{LF} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p \cdot f_{H, LF}}{\eta \cdot 3600 \cdot A_{NGF, LF}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- Druckverlust maßgeblich von Lüftungsgerät bestimmt (*Typenschilder*)

Betriebszeit

- an Zeitschaltuhren im Schaltschrank ablesen oder vom Betriebspersonal erfragen
- Betriebszeitfaktor $f_C = h_B/h_N$ kann auch größer als Eins werden



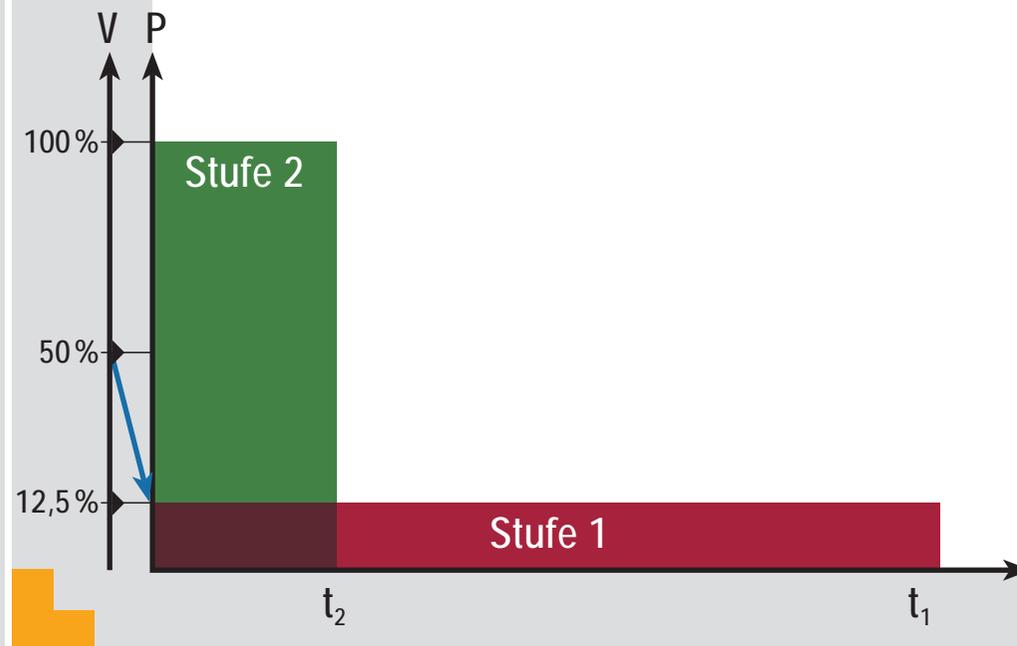
Bedarfsanpassung

- einstufige Anlage mit Zeitschaltuhr
- zweistufige Anlage mit bedarfsabhängiger Stufenschaltung
- VVS-Anlage
(*zonenweise Ein/Aus-Schaltung*)
- VVS-Anlage
(*zonenweise bedarfsabhängige Regelung*)

Bedarfsanpassung

- Lastkurve durch Leistungsstufen annähern
- Laufzeiten abschätzen
- Vollbetriebszeit ermitteln
- Proportionalitätsgesetze beachten:
 $\dot{V} \sim n$
 $P \sim n^3$
- Bei einer Halbierung des Volumenstroms sinkt der Leistungsbedarf auf ein Achtel!

$$f_e \approx \frac{p_{\text{Teil } 1} \cdot h_1 + p_{\text{Teil } 2} \cdot h_2 + \dots + p_{\text{Teil } n} \cdot h_n}{p_{\text{inst.}} \cdot h_B}$$



Übung 7: Lüftung

IST-Zustand

Im 6. Obergeschoß befindet sich ein betriebseigenes Restaurant. Es hat eine Nettogrundfläche von 217 m². Die dazugehörigen Räume werden über eine eigene Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt. Die Zuluft (ZL) wird zentral aufbereitet und über die perforierte Metaldecke in die Räume geführt. Die Abluft (AL) wird über Ansaugschlitze ohne Wärmerückgewinnung (WRG) direkt ins Freie geführt. Die Anlage ist zweistufig. Die Zuluft wird während der kalten Jahreszeit über einen Luftwäscher befeuchtet. Im Lösungsblatt stehen die erhobenen technischen Daten der Lüftungszentrale in einer Tabelle.

Aufgaben

1. Ermitteln Sie die spezifische Leistung p der Lüftungsanlage, wobei $P_{\text{inst, Zuluft}}$ und $P_{\text{inst, Abluft}}$ jeweils die Stufe 2 des ZL-Ventilators und des AL-Ventilators ist. $P_{\text{inst, Hilfsantriebe}}$ ist die Leistung der Luftwäscherpumpe.
2. Berechnen Sie den Betriebszeit-Faktor f_c . Die Standardnutzungszeit h_N ist 2.750 h/a (11 h/d an 250 d/a). Bestimmen Sie zuerst die Betriebszeit h_B [h/d].
3. Wie hoch ist der Energieverbrauch der Lüftungsanlage im Winter W_{Winter} und im Sommer W_{Sommer} . Dabei ist h_{Winter} und h_{Sommer} die entsprechende Betriebszeit der jeweiligen Jahreszeit. Bestimmen Sie mit diesen Werten den Bedarfsanpassungs-Faktor f_e .
4. Berechnen Sie die Vollbetriebszeit h der Lüftungsanlage.
5. Ermitteln Sie mit Hilfe der spezifischen Leistung den spezifischen Verbrauch der Lüftungsanlage.
6. Zum Vergleich ermitteln Sie die Vollbetriebszeit h mit Hilfe des Bedarfsanpassungs-Faktors f_e aus der Tabelle in der Anlage 1.
7. Ermitteln Sie den Jahresstromverbrauch der Lüftungsanlage vom Restaurant. Tragen Sie das Ergebnis in die Tabelle Elektrizitätsbilanz ein.

$$p = \frac{P_{\text{inst}}}{A_{\text{NGF}}} = \frac{P_{\text{inst, Zuluft}} + P_{\text{inst, Abluft}} + P_{\text{inst, Hilfsantriebe}}}{A_{\text{NGF}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{NGF}}} \right]$$

$$f_c = \frac{h_B [\text{h/d}]}{h_N [\text{h/d}]}$$

$$W_{\text{Winter}} = (P_{\text{inst, Winter}} + P_{\text{inst, Hilfsantriebe}}) [\text{W}] \cdot h_{\text{Winter}} [\text{d/a}]$$

$$W_{\text{Sommer}} = P_{\text{inst, Sommer}} [\text{W}] \cdot h_{\text{Sommer}} [\text{d/a}]$$

$$f_e = \frac{W_{\text{Winter}} + W_{\text{Sommer}}}{P_{\text{inst}} [\text{W}] \cdot h_B [\text{d/a}]}$$

$$h = f_c \cdot f_e \cdot h_N \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right]$$

$$E = \frac{p \cdot h \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right]$$

$$W = \frac{E \cdot A_{\text{BGF}}}{1.000} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]$$

Übung 7: Lüftung

IST-Zustand

Lösungen

1.

Gerät		Leistung /Gerät [W]	Betriebsstunden h_B
ZL-Ventilator	Stufe 1	1.700	Winter (100 Tage): 9:00-18:00
	Stufe 2 (1+2)	2.400	Sommer (150 Tage): 9:00-18:00
AL-Ventilator	Stufe 1	190	Winter (100 Tage): 9:00-18:00
	Stufe 2 (1+2)	440	Sommer (150 Tage): 9:00-18:00
Luftwäscherpumpe		390	Winter (100 Tage): 9:00-18:00

$$p = \frac{P_{\text{inst, Zuluft}} + P_{\text{inst, Abluft}} + P_{\text{inst, Hilfsantriebe}}}{A_{\text{NGF}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{NGF}}} \right] \quad p =$$

2.

$$h_N = \quad h_B =$$

$$f_c = \frac{h_B [\text{h/d}]}{h_N [\text{h/d}]} \quad f_c =$$

3.

$$W_{\text{Winter}} = (P_{\text{inst, Winter}} + P_{\text{inst, Hilfsantriebe}}) [\text{W}] \cdot h_{\text{Winter}} [\text{d/a}] \quad W_{\text{Winter}} =$$

$$W_{\text{Sommer}} = P_{\text{inst, Sommer}} [\text{W}] \cdot h_{\text{Sommer}} [\text{d/a}] \quad W_{\text{Sommer}} =$$

$$f_e = \frac{W_{\text{Winter}} + W_{\text{Sommer}}}{P_{\text{inst}} [\text{W}] \cdot h_B [\text{d/a}]} \quad f_e =$$

Lösungen

4.

$$h = f_c \cdot f_e \cdot h_N \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right] \quad h =$$

5.

$$E = \frac{p \cdot h \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BGF}} \text{a}} \right] \quad E =$$

6.

$$h = f_c \cdot f_e \cdot h_N \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right] \quad h = \quad f_e =$$

7.

$$W = \frac{E}{1.000} \cdot \frac{A_{\text{NGF}}}{0,9} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] \quad W =$$

Datenerhebung

- Art der Kältemaschine
- zentral oder dezentral
- inst. Kälteleistung
- inst. elektrische Leistung
- Systemtemperaturen
- Art der Regelung
- wirksame interne und externe Wärmelasten p_{WK} abschätzen

Spez. Leistung

$$p_K = \frac{P_{inst,K} \cdot f_{H,K}}{A_{NGF,K}}$$

Vollbetriebszeit

- unterschiedlich für Luft- und Wasserkühlung
(Anhang Broschüre)
- Faustformel:
20% von h_{LF} bei $p_{WK} = 30 \text{ W/m}^2$
30% von h_{LF} bei $p_{WK} = 40 \text{ W/m}^2$

Luftkühlung

- Abschätzung über Enthalpiedifferenz Δh zwischen Zu- und Außenluft

$$p_{KL} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta h \cdot \rho_L \cdot f_{G,K} \cdot f_{V,KL} \cdot f_{H,KL}}{\eta_K \cdot 3,6 \cdot A_{NGF,KL}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

In großen Bürogebäuden kann vereinfachend der Kühlleistungsbedarf aus den mittleren internen Lasten als plausible Auslegungsgrundlage angesetzt werden.

Wasserkühlung

- Abschätzung über die abzuführende Wärmelast p_{WK}

$$p_{KW} = \frac{p_{WK} \cdot f_{V,KW} \cdot f_{H,KW}}{\eta_K} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Luftkühlung

- Betriebszeitfaktor:
Unterscheidung nach
Wärmelasten und Nutzungszone
- Bedarfsanpassung:
Differenzierung nach
Volumenstrom- und Zuluft-
temperaturregelung

Wasserkühlung

- Betriebszeitfaktor:
Unterscheidung nach
Wärmelasten und Nutzungszone
- Bedarfsanpassung:
Differenzierung nach
Vorlauftemperaturregelung

Anhaltswerte für die einzelnen Faktoren können dem Anhang der Broschüre entnommen werden.

Vergleichskennwerte für Beleuchtung und Lüftung/Klima

Anforderungen und Nachweis für Beleuchtung

Zone	A _{EB} [m ²]	Nutzungs- stunden [h/a]	Nutzungsbedingungen				Spez. Elektrizitätsbedarf		
			Beleucht.- stärke [Lux]	Deko- Beleucht. [W/m ²]	Tageslicht- nutzung [-]	Benutzer- frequenz [-]	Grenz- wert [kWh/m ² a]	Ziel- wert [kWh/m ² a]	Objekt wert [kWh/m ² a]
Büro	2.652	2.750	500		meist	häufig	15,0	5,0	39,5
Restaurant	217	2.750	200		meist	häufig	10,0	6,0	17,0
Computer	164	2.750	300		kein	wenig	25,0	15,0	7,7
Händlerplätze	332	4.000	500		meist	häufig	30,0	15,0	47,8
Ausstellung	310	2.750	300		zum Teil	häufig	25,0	15,0	32,4
Verkehr	1.313	2.750	100		kein	häufig	10,0	7,0	13,9
Technik/Lager	638	2.750	100		kein	wenig	2,0	1,0	11,8
Garage	2.108	2.750	50		kein	wenig	4,0	2,0	2,6
ganzes Gebäude									
Total ²⁾	7.734						11,2	5,3	21,6

Anforderungen und Nachweis für Lüftung/Klima

Zone	A _{EB} [m ²]	Personen- dichte [m ² /P] ¹⁾	Nutzungsbedingungen				Spez. Elektrizitätsbedarf		
			Luft- menge [m ³ /hm ²] ¹⁾	Raucher- anteil [%]	Interne Last [W/m ²]	Benutzer- frequenz [-]	Grenz- wert [kWh/m ² a]	Ziel- wert [kWh/m ² a]	Objekt wert [kWh/m ² a]
Büro	2.652	15		50	30,0	häufig	10,0	5,0	10,6
Restaurant	217	1		50		häufig	15,0	6,0	24,1
Computer						wenig	nicht def.	nicht def.	358,1
Händlerplätze	332	10		50	40	häufig	20,0	10,0	10,5
Ausstellung	310	20			40,0	häufig	15,0	8,0	2,3
Verkehr	1.313		15		20,0	häufig	8,0	3,0	1,4
Technik/Lager			3		10,0	wenig	2,0	1,0	
Garage	2.108		6			wenig	10,0	3,0	12,6
ganzes Gebäude									
Total ²⁾	6.932						10,5	4,4	9,5

- **Energiekennwerte:**
Grenz- und Zielwerte für häufig anzutreffende Nutzungsbedingungen
- **spezifische Leistung:**
allgemeine und verschärfte Richtwert
- **Vollbetriebszeit:**
allgemeine und verschärfte Richtwert
- **Nutzungsanforderungen:**
allgemeine und erhöhte Anforderungen für Außenluftvolumenstrom, Druckdifferenz, Ventilatorwirkungsgrade, mittlere interne Lasten, Leistungsziffern für Kälteanlagen

Übung 8: Grenzwert-Anpassung

Grenz- und Zielwerte für den spezifischen Elektrizitätsbedarf Lüftung/Klima				
Zone Nutzungsstunden	Nutzungsbedingungen	Beispiele	E _{LK} [kWh/m ² a]	
			Grenzwert	Zielwert
alle Zonen	Flächen mit reiner Fensterlüftung, welche ohne eigene Luftförderung oder -aufbereitung durch die Zuluft oder Abluft anderer Zonen gelüftet werden.		0	0
Büro 2 750 h/a	15 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} < 20 W/m ²	Büro mit normalen Arbeitshilfen, keine Kühlung oder Befeuchtung	4	1,3
	10 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} = 30 W/m ²	Büro mit hoher Technisierung	10,0	5,5
	15 m ² /P, Raucher, p _{WL} < 20 W/m ²	Büro mit normalen Arbeitshilfen, keine Kühlung oder Befeuchtung	6,0	2,5
	10 m ² /P, Raucher, p _{WL} = 30 W/m ²	Büro mit hoher Technisierung	15,0	7,4
Verkauf 3 600 h/a	8 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} < 20 W/m ²	einfacher Verkaufsladen, ohne Kühlung oder Befeuchtung	9,0	2,3
	5 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} = 30 W/m ²	Food- oder Nonfoodgeschäft	20,0	7,4
	3 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} = 40 W/m ²	Mode- oder Warenhaus	40,0	15,0
Schulraum 2 000 h/a	7 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} < 20 W/m ²	Volksschule, Gewerbeschule, Gymnasium	4,7	0,7
	10 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} = 30 W/m ²	Übungsraum mit hoher Technisierung	7,6	2,7
	3 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} = 40 W/m ²	Hörsaal, Konferenzsaal, PC-Schulungsraum	20,0	5,8
Bettzimmer 8 760 h/a	15 m ² /P, Nichtraucher, p _{WL} < 20 W/m ²	Spital- oder Krankenzimmer	15,0	5,0
Hotelzimmer 2000 h/a	10 m ² /P, Raucher	Hotelzimmer	6,5	2,4
Restaurant 3 600 h/a	2.0 m ² /P, 50% Raucher, 50% Nichtraucher	Restaurant mit gehobenem Standard (schwache Belegung)	15,0	4,9
	1.2 m ² /P, 50% Raucher, 50% Nichtraucher	Restaurant mit mittlerer Belegung	25,0	8,2
Verkehrsflächen 2 750 h/a *	15 m ³ /h-m ²	Garderobe, Sanitärräume	8,2	2,8
Lager 2 750 h/a *	3 m ³ /h-m ² , wenig genutzt	Archiv	1,6	0,7
	3 m ³ /h-m ² , häufig genutzt	Lager in Verkaufsläden	2,5	1,1
	3 m ³ /h-m ² , mit dauernder mechanischer Lüftung	Lager für empfindliches Lagergut	15,0	6,2
Werkstatt 2 750 h/a	15 m ³ /h-m ²	Werkstatt mit spez. Anforderungen an die Schadstoffabfuhr oder mit hohen internen Lasten	15,0	5,6
Autoeinstellhalle 2 750 h/a * 6500 h/a	2 m ³ /h-m ² , keine baulichen Öffnungen	Parkgeschosse in Büro- oder Gewerbebauten	1,6	0,8
	3 m ³ /h-m ² , keine baulichen Öffnungen	öffentliche Parkhäuser	2,2	0,9

* Nutzungsstunden der zugehörigen Hauptnutzung (z.B. Büro)

Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf Klima/Lüftung [E_{LK}] bei den angegebenen Nutzungsbedingungen (Personenfläche in m²/P, spezifischer Aussenluftstrom in m³/h-m², interne Wärmelasten p_{WL} in W/m²), bezogen auf die Geschoßfläche der betreffenden Zone.

Anpassung der Vergleichskennwerte

Beleuchtung		Nutzungsbedingungen						Anforderungen	
Zone	Nutzungsstunden [h/a]	Beleuchtungsstärke [Lux]	Deko-Beleuchtung [W/m ²]	Tageslichtnutzung [-]	Benutzerfrequenz [-]	Grenzwert [kWh/m ² a]	Zielwert [kWh/m ² a]		
Büro	4.000	750	0	zum Teil	dauernd	55	35		
<i>Standardwerte:</i>		2.750 h/a	500 Lux	0 W/m ²		$p_{BL} = 21,6 \text{ W/m}^2$	15,7 W/m ²		
						$h_{BL} = 2.750 \text{ h/a}$	2.350 h/a		

Lüftung/Klima		Nutzungsbedingungen				Anforderungen	
Zone	Nutzungsstunden [h/a]	Personenfläche [m ² /P]	Raucheranteil [%]	Interne Lasten [W/m ²]	Benutzerfrequenz [-]	Grenzwert [kWh/m ² a]	Zielwert [kWh/m ² a]
Büro	4.000	10,0	50	50	dauernd	30	15
<i>Standardwerte:</i>		2.750 h/a	15	0	20	$p_{LF} = 3,0 \text{ W/m}^2$	1,6 W/m ²
						$h_{LF} = 4.000 \text{ h/a}$	2.909 h/a
						$p_K = 20,0 \text{ W/m}^2$	16,7 W/m ²
						$h_K = 1.050 \text{ h/a}$	800 h/a

Anpassung der Vergleichswerte

Teil 2

Beleuchtung:

$$p_{BL} = 1,9 + \frac{E_m}{100} \cdot 2,62 \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_{BL} = \begin{cases} h_{BL} + h'_N - h_N \left[\frac{h}{a} \right] & \text{wenn } h'_N \geq h_N \\ h_{BL} \cdot \frac{h'_N}{h_N} \left[\frac{h}{a} \right] & \text{wenn } h'_N < h_N \end{cases}$$

$$E'_{BL} = \frac{p_{BL} \cdot h'_{BL} \cdot 0,9}{1000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF}} \right]$$



Lüftung:

$$p_{LF} = \frac{\Delta p \cdot V_p}{\eta \cdot A_p \cdot 3600}$$

$$= \frac{\Delta p \cdot (40 + 0,2 \cdot \text{Raucheranteil in \%})}{\eta \cdot A_p \cdot 3600} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_{LF} = h_{LF} \cdot \frac{h'_N}{h_N}$$

Kälte:

$$p_K = \frac{\text{Interne Lasten}}{\text{mittlere Leistungsziffer der Kälteanlage}} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_K = h'_{LF} \cdot 0,4 \left[\frac{h}{a} \right]$$

$$E'_{LK} = \frac{(p_{LF} \cdot h'_{LF} + p_K \cdot h'_K) \cdot 0,9}{1000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF}} \right]$$

Übung 8: Grenzwert-Anpassung

Die Grenzwerte GW für ein standardisiertes Büro sind an den Nutzungsanforderungen eines Händlerbüros einer Bank anzupassen. Es liegt folgende Nutzungsanforderung des Händlerbüros vor:

Eine Nutzungszeit h'_N von ca. 4.000 h/a, eine mittlere Beleuchtungsstärke E_m von 500 lx bei teilweiser Tageslichtnutzung sowie eine starke Raumbelastung mit 10 m² pro Person (= A_p). Der Raucheranteil beträgt ungefähr 50 %. Die internen Lasten liegen bei 50 W/m². (Die Standardnutzungszeit h_N eines Büros ist 2.750 h/a).

Aufgaben

1. Ermitteln Sie den entsprechenden Grenzwert für den angepaßten, spezifischen Elektrizitätsbedarf E_{BL} für die Beleuchtungsanlage. Dafür müssen Sie zunächst die spezifische Leistung und die Vollbetriebszeit h_{BL} an die Nutzungsbedingungen des Händlerbüros anpassen. Der allgemeine Richtwert für die Vollbetriebszeit der Beleuchtung h_{BL} bei Standardnutzungszeit der Bürozone ist 1.500 h/a.

$$p_{BL} = 1,9 + \frac{E_m}{100} \cdot 2,62 \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_{BL} = h_{BL} + h'_N - h_N \left[\frac{h}{a} \right] \text{ wenn } h'_N \geq h_N$$

$$h'_{BL} = h_{BL} \cdot \frac{h'_N}{h_N} \left[\frac{h}{a} \right] \text{ wenn } h'_N < h_N$$

$$E_{BL} = \frac{p_{BL} \cdot h'_{BL} \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} a} \right]$$

2. Entnehmen Sie der Tabelle in Anlage 1 den entsprechenden Grenzwert für die Nutzungszone Büro (Standardnutzungszeit = 2.750 h/a und $E_m = 500$ lx) und vergleichen Sie den Wert mit dem Ergebnis der Nr. 1.

3. Für den Verwendungszweck Lüftung/Klima soll ebenfalls der angepaßte, spezifische Elektrizitätsbedarf E_{LK} berechnet werden. Der Wert ergibt sich aus den jeweiligen Produkten aus spezifische Leistung p und Vollbetriebszeit h der Bereiche Lüftung (LF) und Kälte (K). Die Anpassung erfolgt mit den allgemeinen Richtwerten: Wirkungsgrad η der Lüftungsanlage gleich 0,55, Druckdifferenz Δp gleich 1.200 Pa, mittlere Leistungsziffer der Kälteanlage gleich 2,5 und Vollbetriebszeit Lüftung h_{LF} gleich 2.750 h/a bei Standardnutzungszeit der Bürozone. Für die Vollbetriebszeit Kühlung h'_K soll 40 % der angepaßten Vollbetriebszeit Lüftung h'_{LF} angesetzt werden.

Lüftung:

$$p_{LF} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}_p}{\eta \cdot A_p \cdot 3.600} = \frac{\Delta p \cdot (40 + 0,2 \cdot \text{Raucheranteil in \%})}{\eta \cdot A_p \cdot 3.600} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_{LF} = h_{LF} \cdot \frac{h'_N}{h_N} \left[\frac{h}{a} \right]$$

Kälte:

$$p_K = \frac{\text{Interne Lasten}}{\text{mittlere Leistungsziffer der Kälteanlage}} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$h'_K = h'_{LF} \cdot 0,4 \left[\frac{h}{a} \right]$$

$$E_{LK} = \frac{(p_{LF} \cdot h'_{LF} + p_K \cdot h'_K) \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} a} \right]$$

4. Entnehmen Sie der Tabelle in Anlage 2 den Grenzwert für die Nutzungszone Büro (Standardnutzungszeit = 2.750 h/a, Personenbelegung = 10 m²/P mit Raucher und Nichtraucher) und vergleichen Sie den Wert mit dem Ergebnis der Nr. 3.

Übung 8: Grenzwert-Anpassung

Lösungen

1.

$$p_{BL} = 1,9 + \frac{E_m}{100} \cdot 2,62 \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right] \quad p_{BL} =$$

$$h'_{BL} = h_{BL} + h'_N - h_N \left[\frac{h}{a} \right] \quad h'_{BL} =$$

$$E_{BL} = \frac{p_{BL} \cdot h'_{BL} \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} \cdot a} \right] \quad E_{BL} =$$

2.

$$E_{BL, Grenzwert} =$$

Übung 8: Grenzwert-Anpassung

Lösungen

3.

$$p_{LF} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}_p}{\eta \cdot A_p \cdot 3.600} = \frac{\Delta p \cdot (40 + 0,2 \cdot \text{Raucheranteil in \%})}{\eta \cdot A_p \cdot 3.600} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$p_{LF} =$$

$$h'_{LF} = h_{LF} \cdot \frac{h'_N}{h_N} \left[\frac{h}{a} \right] \quad h'_{LF} =$$

$$p_K = \frac{\text{Interne Lasten}}{\text{mittlere Leistungsziffer der Kälteanlage}} \left[\frac{W}{m^2_{NGF}} \right]$$

$$p_K =$$

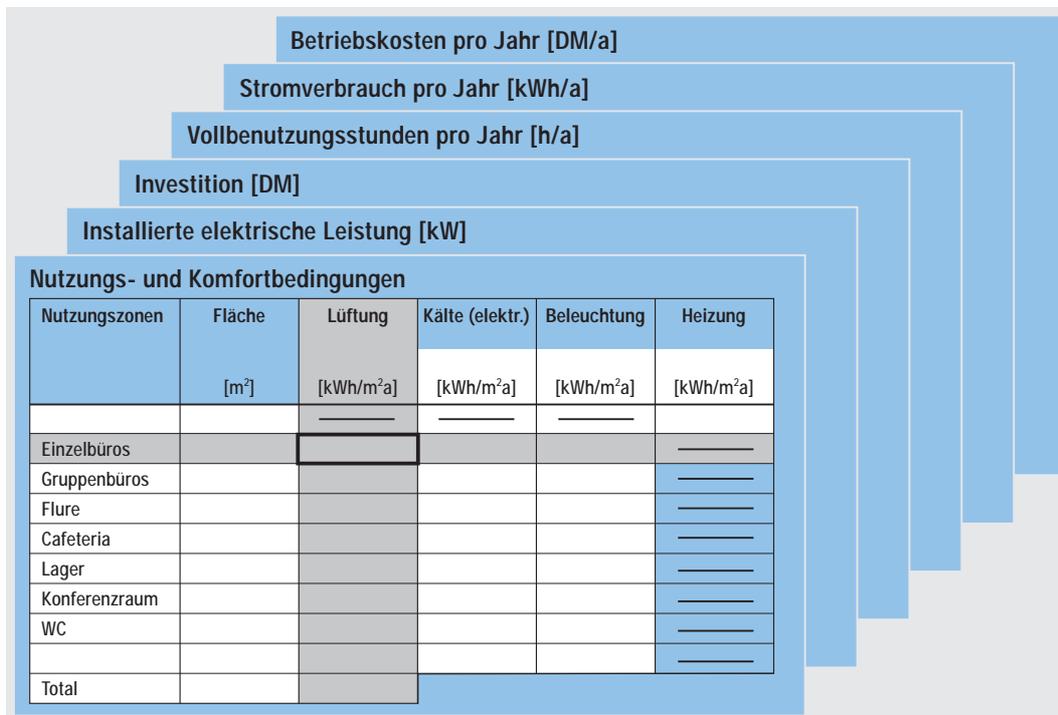
$$h'_K = h'_{LF} \cdot 0,4 \left[\frac{h}{a} \right] \quad h'_K =$$

$$E_{LK} = \frac{(p_{LF} \cdot h'_{LF} + p_K \cdot h'_K) \cdot 0,9}{1.000} \left[\frac{kWh}{m^2_{BGF} a} \right]$$

$$E_{LK} =$$

4.

$$E_{LK, \text{Grenzwert}} =$$



- Ausgangspunkt jeder Planung oder Optimierung muß die Frage sein:
Welche Energiedienstleistung soll erbracht werden?
- Wie hoch ist die geforderte Beleuchtungsstärke, welche Frischluft rate wird angesetzt, mit welchem internen Lasten wird gerechnet, wie hoch ist der Kältebedarf?
- Die Spirale der Sicherheitszuschläge kann durchbrochen werden, wenn die Nutzungs- und Komfortanforderungen hinterfragt und festgelegt werden

Beispiel: Interne Lasten

Vergleich Interne Lasten - Lüftung/Klima									
Zone	A_{EB} [m ²]	Nutzungs- stunden [h/a]	Gleich- zeitigkeit Personen	Gleich- zeitigkeit AH + ZD	Gleich- zeitigkeit BL	Interne Lasten [W/m ²]	Kühlung zulässig [ja/nein]	Volumen- strom [m ³ /m ² h]	inst.Kälte Leistung [W/m ²]
Büro	2.652	2.750	0,6	0,7	1,0	48	JA	11	
Restaurant	217	2.750	0,3	0,7	1,0	56	JA	27	
Computer	164	2.750	0,1	1,0	1,0	95	JA	60	261,0
Händlerplätze	332	4.000	0,8	1,0	1,0	61	JA	21	
Ausstellung	310	2.750	0,3	0,5	1,0	23	NEIN	5	
Verkehr	1.313	2.750		0,7	1,0	8	NEIN	1	
Technik/Lager	638	2.750		0,1	1,0	10	NEIN		
Garage	2.108	2.750			1,0	1	NEIN	9	
ganzes Gebäude									

Übung 9: Luftwechsel

In den folgenden Aufgaben soll näher untersucht werden, wie sich eine pauschale Forderung nach einem flächenbezogenen Mindest-Außenluftstrom oder einer bestimmten Luftwechselrate auf den Außenluftstrom pro Person auswirkt. Hintergrund ist die Frage, wie eine bestimmte Nutzungs- oder Komfortanforderung – wie z. B. ein 2-facher Luftwechsel – auf Plausibilität hinterfragt werden kann.

Aufgaben

1. Ermitteln Sie den personenbezogenen Außenluftstrom auf Basis eines flächenbezogenen Außenluftstroms von $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. Die im Lösungsblatt stehende Tabelle ist mit folgender Formel auszufüllen.

$$\dot{V}_p = \dot{V}_f \cdot A_p \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Ph}} \right]$$

\dot{V}_p = personenbezogener Außenluftstrom

\dot{V}_f = flächenbezogener Außenluftstrom

A_p = Personenbelegung

2. Für einen Büroraum wird pauschal ein 2-facher Luftwechsel gefordert. In Abhängigkeit der Personenbelegung und der Raumhöhe ist der flächenbezogene Außenluftstrom und der personenbezogene Außenluftstrom zu berechnen. Füllen Sie die im Lösungsblatt stehende Matrix mit folgenden Formeln aus.

$$\dot{V}_f = \dot{n} \cdot h_r \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ h}} \right]$$

$$\dot{V}_p = \dot{V}_f \cdot A_p \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Ph}} \right]$$

\dot{n} = Luftwechsel

h_r = Raumhöhe

3. Welches Kriterium würden Sie mit in die Auslegung einer Lüftungsanlage einfließen lassen?
4. Wie verändert sich die Leistungsaufnahme eines Ventilatorantriebs, wenn der Volumenstrom halbiert wird?

$$\dot{V} \sim n$$

$$P \sim n^3 \sim \dot{V}^3$$

\dot{V} = Volumenstrom

n = Drehzahl Ventilator

P = Leistung Ventilator

Übung 8: Grenzwert-Anpassung

Lösungen

1.

Bürraum			
	Personenbelegung A_p		
	10 m ² /P	15 m ² /P	20 m ² /P
$\dot{V}_F = 4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{Ph})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{Ph})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{Ph})$

2.

Bürraum, 2-facher Luftwechsel			
Raumhöhe h_R	Personenbelegung A_p		
	10 m ² /P	15 m ² /P	20 m ² /P
2,8 m	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$
	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$
3,0 m	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$
	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$
3,5 m	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$	$\dot{V}_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$
	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3/(\text{P h})$

3.

4.

$$\dot{V} \sim n$$

$$P \sim n^3 \sim \dot{V}^3$$

Beispiel: Personenbezogener Luftwechsel Teil 2

2-facher Luftwechsel n		Personenbelegung A _p		
		10 m ² /P	15 m ² /P	20 m ² /P
Raumhöhe h _R	2,8 m	$\dot{V}_F = n \cdot h_R \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
		$\dot{V}_P = \dot{V}_F \cdot A_P \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$
	3 m	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
		$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$
	3,5 m	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$	$\dot{V}_F = \quad \text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
		$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$	$\dot{V}_P = \quad \text{m}^3/(\text{P h})$

Beispiel: Personenbezogener Luftwechsel Teil 2

2-facher Luftwechsel n		Personenbelegung A_p		
		10 m ² /P	15 m ² /P	20 m ² /P
Raumhöhe h_R	2,8 m	5,6 m ³ /m ² h 56 m³/P h	5,6 m ³ /m ² h 84 m³/P h	5,6 m ³ /m ² h 112 m³/P h
	3 m	6 m ³ /m ² h 60 m³/P h	6 m ³ /m ² h 90 m³/P h	6 m ³ /m ² h 120 m³/P h
	3,5 m	7 m ³ /m ² h 70 m³/P h	7 m ³ /m ² h 105 m³/P h	7 m ³ /m ² h 140 m³/P h